



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NOŽÍŘSKÉ OCELI A JEJICH SLOŽENÍ A VLASTNOSTI

CUTLERY STEELS AND THEIR COMPOSITION AND PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Monika Lenghardová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Monika Lenghardová
Studijní program	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nožířské oceli a jejich složení a vlastnosti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pod názvem nožířské oceli je zahrnuta celá řada ocelí vhodných pro výrobu čepelí nožů. Jedná se o oceli nízkolegované nebo vysokolegované, kde chemické složení oceli musí zajistit vhodný poměr mezi pevností a houževnatostí oceli a její tvrdostí. Požadovaných vlastností je dosahováno jednak vhodným chemickým složením, zejména obsahem uhlíku, a tepelným zpracováním oceli. Kromě uhlíku jsou oceli pro čepele nožů dále legovány prvky jako chrom, molybden nebo vanad. Tepelné zpracování čepele nože pak obvykle sestává z kalení a následného popuštění.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je provést literární rešerši v oblasti ocelí vhodných pro výrobu čepelí nožů z hlediska jejich chemického složení, struktury, vlastností a tepelného zpracování. V praktické části práce pak u vybrané oceli provést tepelné zpracování oceli a zhodnotit její strukturu a vlastnosti oceli. Na základě provedených zkoušek pak posoudit její vhodnost pro použití na čepele nožů.

Seznam doporučené literatury:

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-8-254-2250-2.
PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu I. Brno: PC DIR, 2001. 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
PŘIBIL, E. a kol. Nástrojové oceli Poldi a jejich použití I. díl. Kladno: Spojené ocelárny, n. p., Kladno, 1986. 412 s.
PŘIBIL, E. a kol. Nástrojové oceli Poldi a jejich použití II. díl. Kladno: Spojené ocelárny, n. p., Kladno, 1986. 224 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

LENGHARDOVÁ Monika: Nožířské oceli a jejich složení a vlastnosti

Tato práce je zaměřena na popis vhodných ocelí pro výrobu čepelí z hlediska jejich chemického složení, struktury, vlastností a tepelného zpracování. Praktická část se zaměřuje na posuzování konkrétních vybraných nástrojových ocelí vyrobených konvenčními postupy – AK5, N690 a oceli RWL34, vyrobenou technologií práškové metalurgie. U všech třech vybraných ocelí byly provedené 2 způsoby tepelného zpracování a následné hodnocení bylo realizované na základě výsledků provedených zkoušek mechanických vlastností – tříbodový ohyb a tvrdost podle Rockwella, včetně metalografického hodnocení struktury materiálů.

Klíčová slova: Nástrojová ocel, tepelné zpracování, struktura, mechanické vlastnosti, čepel

ABSTRACT

LENGHARDOVÁ Monika: Cutlery steels and their composition and properties

This thesis is focused on the description of steels suitable for blades production in terms of their chemical composition, structure, properties and thermal processing. The practical part is focused on the assessment of particular selected tool steels manufactured by conventional procedures - AK5, N690 and RWL34 steel manufactured by powder metallurgy. There were carried out the two methods of thermal processing with all three selected steels and the subsequent assessment was performed on the basis of the results of mechanical properties testing - three-point bend and hardness according to Rockwell, including the metallographic assessment of material structure.

Keywords: Tool steel, thermal processing, structure, mechanical properties, blade

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

·
LENGHARDOVÁ, Monika. *Nožířské oceli a jejich složení a vlastnosti*. Brno, 2019. 36s, CD. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116990>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Odbor slévárenství. Vedoucí práce doc.Ing.Antonín Záděra Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc.Ing.Antonínu Záděrovi Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 HISTORIE A ROZDĚLENÍ NOŽŮ.....	10
1.1 Základní rozdělení ručních nožů.....	10
1.2 Základní rozdělení strojních nožů.....	12
2 NOŽÍŘSKÉ OCELI	14
2.1 Nástrojové oceli	16
2.1.1 Nástrojové oceli, vyrobené konvenčními postupy.....	16
2.1.2 Nástrojové oceli, vyrobené práškovou metalurgií.....	20
2.2 Speciální druhy nožářských ocelí.....	23
2.2.1 Sendvičová ocel	23
2.2.2 Damascenská ocel	23
2.2.3 Damasteel	23
2.2.4 Bulat	23
3 PRAKTICKÁ ČÁST.....	24
3.1 Příprava vzorků.....	24
3.1.1 Vzorky pro zkoušku tříbodovým ohybem.....	24
3.1.2 Vzorky pro metalografické hodnocení ocelí.....	25
3.1.3 Systém označení vzorků.....	25
3.1.4 Tepelné zpracování.....	26
3.2 Zkouška tvrdosti podle Rockwella.....	27
3.2.1 Výsledky zkoušky tvrdosti.....	27
3.3 Zkouška tříbodovým ohybem.....	28
3.3.1 Výsledky zkoušky ohybem.....	29
3.4 Metalografické hodnocení vzorků.....	33
4 ZÁVĚRY	36

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

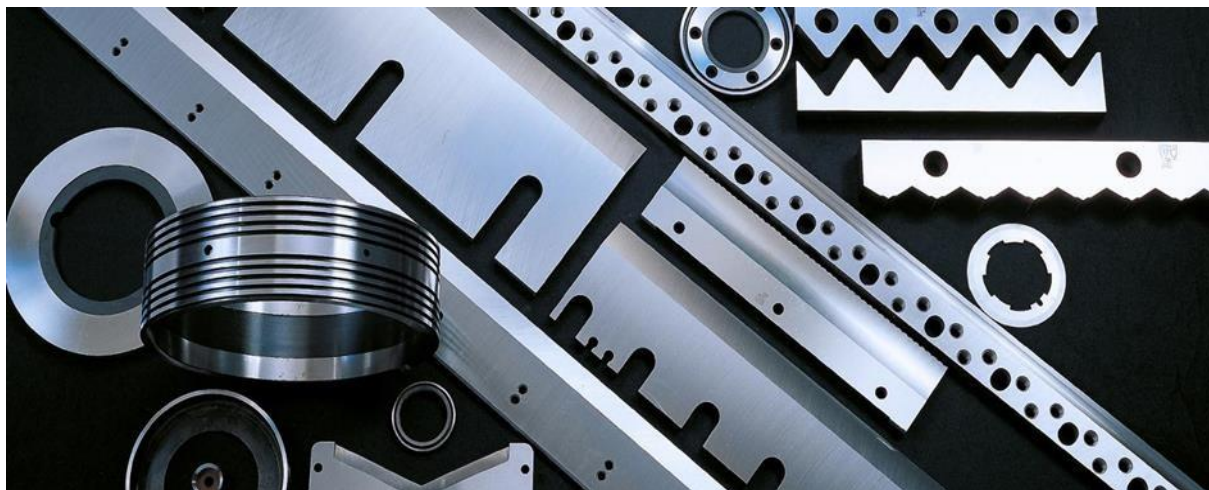
Seznam obrázků

Seznam tabulek

ÚVOD

Na trhu je v současnosti velký výběr ocelí vhodných na výrobu čepelí ručních nožů, průmyslových nožů, nůžek, stříhadel apod. Souhrnně se označují názvem „Nožírské oceli“. Nožíři i firmy zabývající se výrobou nožů viz obr. 2, strojních nožů viz obr. 1 a střižných nástrojů, preferují určité druhy ocelí pro svoje výrobky. Nejpoužívanější jsou nástrojové oceli (nelegované-uhlíkové, legované, legované-chromové), korozivzdorné oceli (tř.17, dle dnes již neplatné normy ČSN) a oceli vyrobené technologiemi práškové metalurgie (PM, CPM atd.), které mají unikátní kombinace vlastností a jemnozrnnou, zcela homogenní strukturu. Ze speciálních druhů ocelí, jsou velmi oblíbené damascenské čepele viz obr. 3, které vynikají nejen krásnou kresbou, ale i svými vlastnostmi, zejména poměrem tvrdosti a houževnatosti.

Dva základní požadavky kladené na čepele, jsou vysoká tvrdost (dobré držení ostří), při zachování houževnatosti (aby při větším namáhání nedošlo ke zlomení). Obecně platí, že neúměrné zvyšování tvrdosti, má za následek pokles houževnatosti. Správné kombinace těchto dvou vlastností, lze dosáhnout vhodným tepelným zpracováním, které pozůstává z kalení a následného popouštění. Dalšími požadavky jsou např.: korozní odolnost, dobrá brusitelnost, odolnost vůči otupení a vynikající řezné vlastnosti. Existuje víc faktorů, ovlivňujících řezné vlastnosti ocelových nožů, např. tvar čepele, úhel břitů, údržba atd., avšak zásadní vliv má volba vhodné oceli a její tepelné zpracování. [1]



Obr. 1 Strojní nože [2]



Obr. 2 Tlačné dýky Cold Steel [3]



Obr. 3 Damascenský nůž/ p.Pokorný[4]

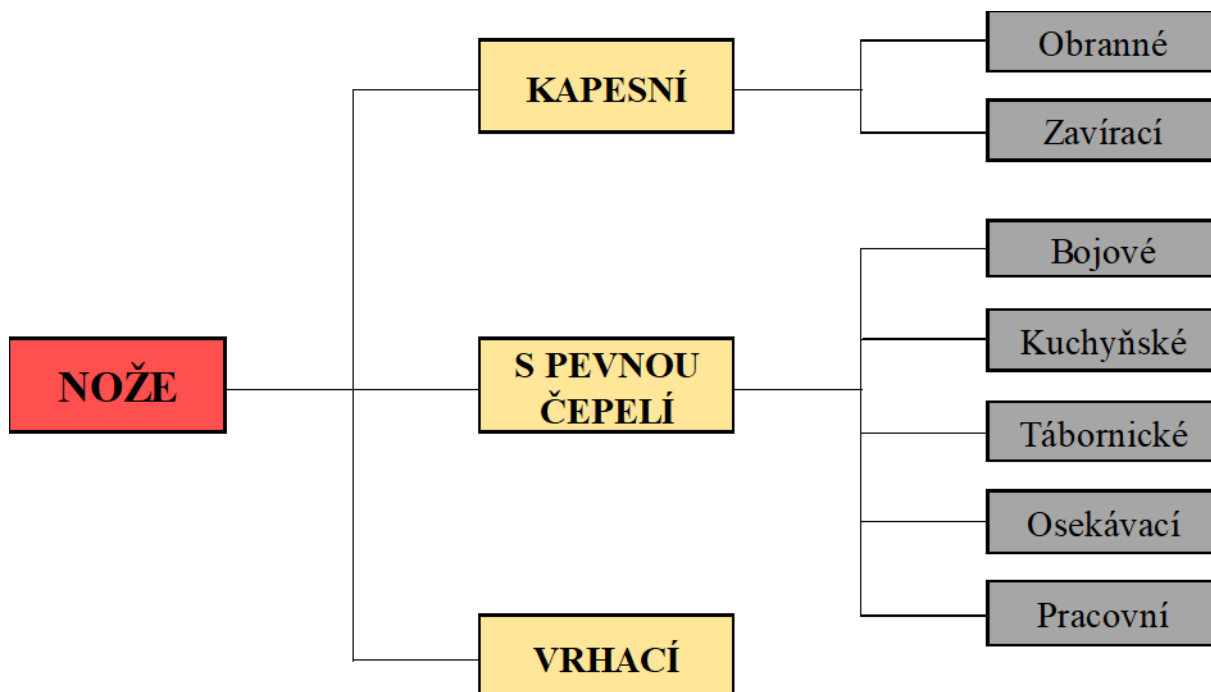
1 HISTORIE A ROZDĚLENÍ NOŽŮ

Nůž byl pro člověka důležitým pomocníkem již v době kamenné, kdy se k jeho zhotovení používali materiály např. kámen, dřevo, kosti, parohy a nerost – oxid křemičitý tzv. Pazourek. Tehdejší nože měli podobu pěstních klínů. Později byl na jejich výrobu používán bronz (slitina přibližně 90% mědi a 10 % cínu) a dostávali již tvar podobný současným nožům. V té době bylo železo vzácné, jeho získávání z rudy bylo náročné, a vzhledem k neznalosti technologie kalení, byly nože ze železa velmi měkké. Železo, jako hlavní surovina k výrobě nástrojů a zbraní, se začalo používat až v době železné. V té době se také rozvíjely kovářské techniky, které nástrojům zajistili potřebnou tvrdost. Tento všestranný nástroj plnil různé úlohy, především byl používán při lovu, porcování ulovené zvěře, činnosti spojené s krájením, řezáním, sekáním, ale také jako zbraň. [5]

I v současné době je nůž nepostradatelnou součástí každé domácnosti a jeho využití je mnohem účelnější. Na výrobu čepelí se dnes používají i materiály jako keramika, plasty, neželezné kovy, avšak nejpoužívanější materiál je jednoznačně ocel, neboli nožírské oceli, na které je tato práce zaměřena.

1.1 Základní rozdělení ručních nožů

Nože je možné rozdělit podle více kritérií, např. podle konstrukce, tvaru čepele atd. Jedním z nejdůležitějších kritérií pro volbu vhodné oceli na nůž, je pořizovací cena a účel, na který bude používán. Podle konstrukce a účelu viz obr. 4, lze ruční nože rozdělit na: [6]



Obr. 4 Základní rozdělení nožů

Popis jednotlivých druhů nožů: [6], [7], [8]

➤ **KAPESNÍ NOŽE** (od nožů s fixním ostřím se liší především svou konstrukcí)

- Obranné – používají se k obraně i k útoku. Zpravidla jsou opatřené čepelí s ostrou špičkou. Pevnost a řezivost jsou zásadními požadovanými vlastnostmi jak útočných, tak i obranných nožů. Do této skupiny patří nože vystřelovací, vyhazovací, tzv. motýlky a další.
- Zavírací – používají se na práce všeho druhu. A podle daného účelu jsou na ně kladeny podobné nároky jako u nožů s pevnou čepelí. Zavírací nože mohou být jednoúčelové, víceúčelové, multifunkční, např. švýcarské, nářaďové, záchranářské viz obr. 5, a další.



Obr. 5 Záchranářský zavírací nůž Gerber [9]

➤ **S PEVNOU ČEPELÍ** (s fixním ostřím)

- Bojové – jejich konstrukce viz obr. 6, je navrhována za účelem maximální ranivosti. Charakteristickým znakem je ostrá špička. Požadované vlastnosti oceli pro bojové nože jsou, vysoká pevnost a řezivost. Silné čepele těchto nožů jsou obvykle černěné, aby se ve tmě neleskly, ale povlak také působí jako ochrana proti korozi. Patří sem např. taktické nože, dýky, tlačné dýky, bodáky, bajonety i víceúčelové karambity.



Obr. 6 Bojový nůž Cold Steel [10]

- Kuchyňské – jsou určeny zejména na krájení a řezání, pro domácí i profesionální použití a lze konstatovat, že tento druh nožů je na světě nejpoužívanější. Čepel nemusí být tak silná jako např. u tábornických nožů. Mezi požadované vlastnosti patří hlavně řezivost, korozivzdornost a houževnatost, důležitá je také snadná brusitelnost. U specifických druhů kuchyňských nožů, jako např. vykošťovací nůž viz obr. 7, je důležitá především pružnost a také i specifický tvar čepele. Do této skupiny dále patří nože řeznické, filetovací, steakové, kuchařské, univerzální, nože na pečivo, na sýr, na zeleninu, cukrářské, loupací, špikovací, příbory atd.



Obr. 7 Vykošťovací nůž Wüsthof [11]

- **Osekávací** – používají se k činnostem: osekávání, sekání a páčení, proto mezi nejdůležitější požadované vlastnosti patří dostatečná tvrdost a vysoká houževnatost. Vzhledem k tomu že jsou čepele silné a dlouhé, je od oceli požadovaná i velmi dobrá prokalitelnost. Zařadují se sem parangy, mačety atd.
- **Tábornické** – pro práce všeho druhu. Největší zastoupení mají v této skupině nože typu Bowie, pro které je charakteristická rovná čepel s prohnutým (konkávně zakřiveným) hrotem a masivní příčkou (záštitou), oddělující čepel od rukojeti viz obr. 8. Tento typ čepele má dnes mnoho modifikací. Patří sem nože lovecké, stahovací, vyvrhovací, nože na přežití tzv. survival, lovecké tesáky atd.



Obr.č.8 Čepel typu Bowie [12]

- **Pracovní** – mají speciální tvar pro určitý druh práce. Podle druhu práce se odvíjí i požadované vlastnosti. Např. pro potápěčské nože je důležitá pevnost a korozivzdornost. Zařadují se sem nože zahradnické (roubovací, očkovací, nůžky), elektrikářské, řezbářské, bezpečnostní, kotoučové a mnoho dalších.
- **VRHACÍ** – pro tuto skupinu nožů je důležitá především pružnost, proto se tyto čepele nekalí na vyšší tvrdost. Důraz se klade také na vyváženost, některé nože jsou opatřeny posuvným závažím, které dává možnost vyvážení podle potřeby. Vrhací nože viz obr. 9, mají obvykle oboustranné ostří a mohou být s rukojetí i bez ní, a také jsou často opatřeny čepelemi z obou stran.



Obr.č.9 Vrhací nůž Elite Force [8]

Vzhledem k tomu, že se jedná o Základní rozdělení, nejsou zde uvedeny všechny existující druhy ručních nožů.

1.2 Základní rozdělení strojních nožů

Strojní (průmyslové) nože jsou namáhány dynamicky a často i tepelně, tomu musí odpovídat i výběr vhodné oceli. Zpravidla se vyrábí z nástrojových ocelí legovaných, vysokolegovaných a rychlořezných. Volba oceli závisí na mnoha kritériích, např. v jakých podmínkách mají pracovat (tepelné, oxidační atd.), jaké materiály mají dělit (dřevo, sklo, plasty, kov, textil a pod.), pro jaký průmysl (potravinářský, strojírenský, zdravotnický atd.). Jedním z nejdůležitějších hledisek je pořizovací cena a účel, na který mají být nože používány. Podle účelu lze strojní nože rozdělit na: [13],[14],[15]

- **Čepelky** – průmyslové, technické, na skelná vlákna, na fólie, čepelky z tvrdokovu a další. Mají různé rozměry a typy ostří. Podle tvarů viz obr. 10, mohou být konvexní, konkávní, pravoúhlé, kruhové, trapézové, skalpelové, vlnité, ozubené a mnoho dalších. K jejich

výrobě se používají různé druhy ocelí: rychlořezné, uhlíkové, korozivzdorné, nástrojové, tvrdokov (karbid wolframu), atd. Požadovaná je především vysoká ostrost a tvrdost (obvykle nad 60 HRC), což vede ke snížené odolnosti ostří vůči vylamování a tím snížené životnosti čepelky. To lze částečně ovlivnit tupějším úhlem ostří, nebo také se používá povlakování, nejčastěji TiN, který snižuje řezný odpor.



Obr. 10 Čepelky [13]

- **Perforační nože** – z nástrojových rychlořezných ocelí, jsou určené k perforování různých materiálů např. toaletní papír, papírové sáčky, textil, plasty, pytle na cement. Na podélnou perforaci se používají kruhové nože a na příčnou, dlouhé nože.
- **Pásové nože** – neboli pily, jsou používané k dělení širokého sortimentu materiálů, např. plasty, maso až po kovové materiály. Jsou dva druhy: ozubené a neozubené. Mohou být jednostranně i oboustranně broušené, s fazetkou i bez ní.
- **Příčné nože** – používají se na příčné dělení materiálu při výrobě např. archového papíru, kartonáže, celulozy a dalších. Jsou ozubené nebo neozubené, monolitické i bimetalické, mohou mít naletovaný břit z rychlořezné oceli.
- **Kruhové nože** – na obr. 11, se používají pro podélné řezání různých druhů materiálů (papír, fólie, neželezné kovy, textil atd.). Ostří bývá běžně spojitě, může ale být i ozubené nebo perforační. Uplatnění tyto nože nachází především v potravinářském a balicím průmyslu, jsou vyrobeny z různých druhů ocelí, např. i z tvrdokovu (Tangens Carbide), dle účelu použití. Požadavky na vlastnosti jsou zejména odolnost vůči opotřebení a tvrdost, často i korozivzdornost (hlavně v potravinářském průmyslu). Pro dosažení delší životnosti, mohou být povlakované např. teflonem nebo titanem. Způsoby řezání: nůž proti noži (stříhání), nůž proti válci (protlačování), nůž proti mezeře.



Obr. 11 Kruhové nože [14]

- **Nože na kartonáž** – jsou určené na výrobu klopových krabic. Mohou být příčné, kruhové i pásové. Vyrábí se obvykle z vysokolegovaných ocelí s vyšším obsahem chromu (cca 12%). Základním typem jsou Segmentové nože (se žlábkem, s hladkým ostřím, se žlábkem a fazetkou, ozubené pro perforační stříhání a s vlnovým zubem.). Další typy jsou Ryly (na prolamování lepenky) a Nože pro mostové výseky.

Existuje ještě mnoho dalších druhů strojních nožů, které nejsou uvedeny v tomto základním rozdělení, např. stohové rezačky a trojřezy, nože na plasty, nože na potraviny, speciální střížné nástroje, nože na kov, výsekové desky, vrtáky, pily atd.

NOŽÍŘSKÉ OCELI

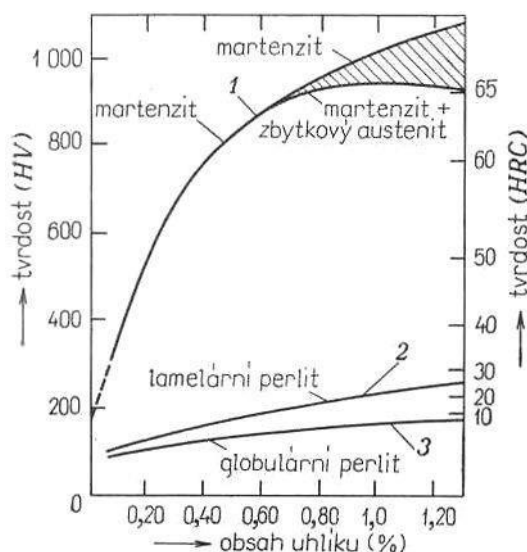
Rozhodující vliv na výsledné vlastnosti čepele, má chemické složení oceli, zejména obsah uhlíku, a tepelné zpracování, které sestává z kalení a popouštění. Cílem je zajistit vhodný poměr mezi houževnatostí a tvrdostí čepele a ostří.

Strojní i ruční nože jsou používány k různým účelům, jako je stříhání, řezání, krájení, sekání atd. Vzhledem k tomu, že se používají k dělení rozličných materiálů (dřevo, potraviny, textil, papír, kůže, plasty atd.), je důležité, aby splňovaly požadované vlastnosti a to především dostatečně velkou: tvrdost, řezivost, trvanlivost, houževnatost, odolnost vůči opotřebení, často i korozivzdornost (v závislosti na pracovním prostředí). [16]

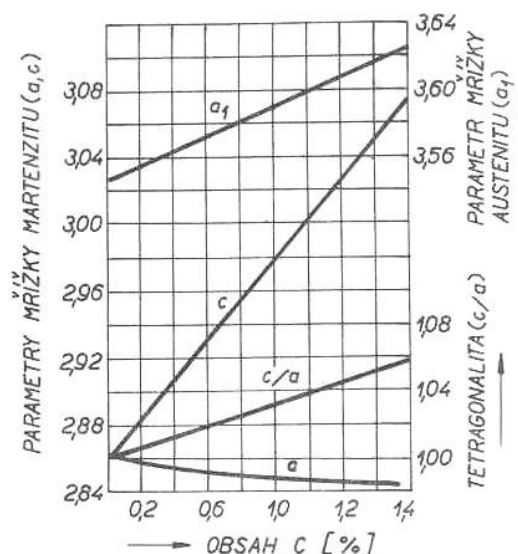
Těchto vlastností, nebo spíše kombinaci určitých vlastností, lze dosáhnout správným chemickým složením a vhodným tepelným zpracováním, které má zásadní vliv i na výslednou strukturu materiálu.

Chemické prvky, ovlivňující výsledné vlastnosti nožířských ocelí: [16],[17],[18]

- **Uhlík (C)** – má zásadní vliv na vlastnosti oceli. S jeho zvyšujícím obsahem se zvyšuje i tvrdost, odolnost vůči tlakovému namáhání a odolnost vůči opotřebení, ale zároveň klesá houževnatost. Snižuje teplotu počátku martenzitické přeměny M_s . S rostoucím obsahem uhlíku se zvyšuje podíl zbytkového austenitu po kalení, což vyžaduje u vysokouhlíkatých ocelí popouštění v několika stupních.



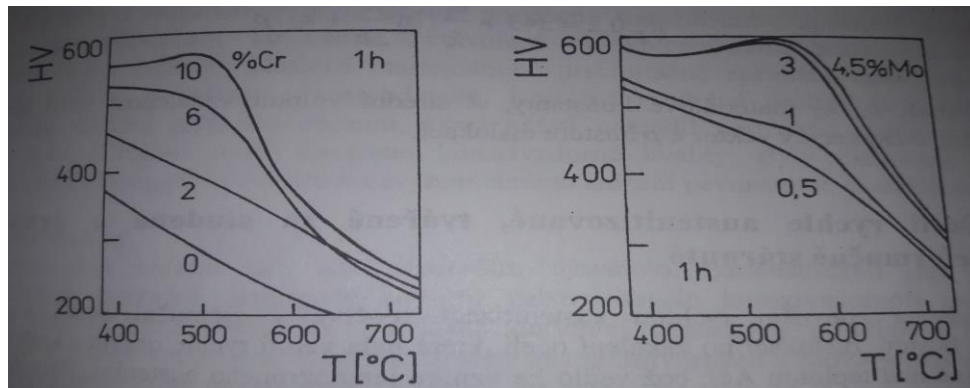
Obr. 12 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost uhlíkových ocelí ve stavu kaleném (1) a žíhaném (2) [19]



Obr. 13 Závislost obsahu uhlíku a parametru mřížky martenzitu [19]

- **Niob (Nb)** – je silně karbidotvorný. podporuje jemnozrnnou strukturu, která zajišťuje stabilitu ostří. Zvyšuje pevnost za tepla a mez tečení (austenitické žáruvzdorné oceli).
- **Křemík (Si)** – má dezoxidační účinek, zvyšuje pevnost a mez kluzu, zhoršuje tvařitelnost, elektrickou a tepelnou vodivost.
- **Síra (S)** – je škodlivý prvek, který tvoří sulfidy a oslabuje soudržnost austenitických zrn, a to má za následek lámavost za tepla. Síra má sklon k segregaci, má sice příznivý vliv na obrobitelnost, což však není u nástrojových ocelí s ohledem na použití významné.

- **Chróm (Cr)** – je karbidotvorný prvek, který zajišťuje odolnost vůči oxidaci. Oceli s obsahem chrómu nad 13%, se považují za korozivzdorné. Vzhledem k velké afinitě k uhlíku, tvoří stabilní karbidy, které zvětšují tvrdost a odolnost vůči opotřebení. Martenzitická přeměna Ms se se zvyšujícím obsahem chrómu snižuje. Vyšší obsah chrómu zlepšuje odolnost vůči tvoření okují. Dále zvyšuje prokalitelnost a odolnost proti popouštění.
- **Molybden (Mo)** – je také karbidotvorný prvek, který zvyšuje řezivost, prokalitelnost (zejména v kombinaci s Cr), snižuje popouštěcí křehkost viz obr. 20, zvyšuje žárupevnost a pevnost zatepla.



Obr. 14 Vliv chrómu (vlevo) a molybdenu (vpravo) na tvrdost po popouštění ocel zakalena s 0,3 % C a 1 % Mn (vlevo), 0,4 % C a 0,1 % Mn (vpravo) [20]

- **Mangan (Mn)** – zvyšuje pevnost bez zhoršení plasticity, zvyšuje sklon k hrubnutí zrna při překrystalizaci. Snižuje tepelnou i elektrickou vodivost a zvyšuje tepelnou roztažnost. Zlepšuje prokalitelnost, ale i náchylnost k popouštěcí křehkosti.
- **Vanad (V)** – má příznivý vliv na růst zrna a zlepšení únavových vlastností. Vzhledem k vysoké afinitě k dusíku, snižuje náchylnost ke stárnutí. Zvyšuje odolnost vůči opotřebení, řezivost, pevnost zatepla, odolnost proti popouštění a přehřátí.
- **Wolfрам (W)** – je silně karbidotvorný prvek, který zlepšuje kalitelnost, zpomaluje růst zrn, zvyšuje odolnost vůči opotřebení i při vysokých teplotách. Zlepšuje řezivost, odolnost vůči popouštění. Zvyšuje také žáruvzdornost u nízkolegovaných ocelí, tvrdost a stálost ostří.
- **Cobalt (Co)** – prvek, který netvoří karbidy. Zvyšuje odolnost proti popouštění, pevnost zatepla, tepelnou vodivost, u rychlořezných ocelí zlepšuje řezivost. Zvyšuje teploty Ms. Je důležitou přísadou u austenitických žárovevých ocelí, ale např. i u rychlořezných. Nevýhodou je vysoká cena.
- **Nikl (Ni)** – zjemňuje krystalizaci, zvyšuje mez kluzu a zlepšuje vrubovou houževnatost při normální a snížené teplotě. V kombinaci s chrómem zlepšuje prokalitelnost, plasticitu a houževnatost.
- **Fosfor (P)** – je nežádoucí prvek, náchylný k odměšování (segregaci) z taveniny a má sklon k sekundární segregaci. Vyvolává popouštěcí křehkost, zhoršuje vrubovou houževnatost, sklon k lámavosti zastudena. V ocelích by měl být jeho obsah nižší, obvykle do 0,03 %. Oceli odolné vůči popouštěcí křehkosti obsahují méně než 0,01 %. U vysoce pevných ocelí zvyšuje fosfor sklon ke vzniku trhlin a křehkých lomů.

2.1 Nástrojové oceli

Tento typ ocelí je charakterizován obsahem uhlíku obvykle v rozmezí 0,5 - 1,5 % (i víc) a poměrně vysokým obsahem legujících prvků (chrom, molybden, vanad, wolfram a jiné). Základními vlastnostmi nástrojových ocelí jsou vysoká tvrdost, houževnatost a velmi dobrá odolnost vůči opotřebení. Díky těmto vlastnostem, jsou ideální volbou pro dynamicky namáhané průmyslové nože a nůžky, razidla, lisovací a střížné nástroje. Z ručních nástrojů jsou používány zejména na čepele pro nože tábornické, bojové, obranné atd., ale jsou vhodné pro všechny typy ručních nožů. Nástrojové oceli jsou dražší, než běžné korozivzdorné nebo uhlíkové oceli. Jejich vysokou cenu způsobuje vyšší obsah legujících prvků, složitější a nákladnější tepelné zpracování často několikasupňové popouštění a náročnější kalení, aby nedošlo k oduhličení.

Strukturu nástrojových ocelí tvoří obvykle po zakalení martenzit nebo směs martenzitu s bainitem, zbytkový austenit, a karbidy, které zvyšují tvrdost.

2.2.1 Nástrojové oceli, vyrobené konvenčními postupy

Za konvenční postupy lze považovat výrobu z hutních polotovarů, vyrobených konvenční metalurgií – odléváním do ingotů nebo kontinuálním odléváním s následným tvářením za tepla a studena.

Pro nožířské účely se používají nejčastěji uhlíkové, legované a legované (chromové) oceli, pro práci za studena. Bývají legovány prvky: chrom (Cr), molybden (Mo), vanad (V), wolfram (W), kde celkové množství přísad nepřesahuje 5 %. Výjimkou jsou legované (chromové) a vysokolegované oceli. Všechny uvedené legující prvky tvoří stabilní karbidy, zlepšují prokalitelnost, zpomalují pokles tvrdosti při popouštění a zvyšují odolnost vůči opotřebení. [17]

- **Nelegované (uhlíkové) oceli** – jsou slitiny železa a uhlíku, kde obsah uhlíku se obvykle pohybuje v rozmezí 0,4÷1,10 %. Jsou často legované manganem, avšak jen nízkým obsahem, protože mangan má za následek zvyšování zbytkového austenitu v ocelích, čímž snižuje jejich tvrdost. Uhlíkové oceli po tepelném zpracování dosahují vysokou tvrdost, mají vynikající řezné vlastnosti a snadno se brousí. Na druhou stranu ale snadno korodují a mají malou prokalitelnost. [17]
- **Legované nástrojové oceli** – se obvykle kalí do oleje. Oproti nízkolegovaným ocelím, mají vyšší prokalitelnost, a také vyšší tvrdost (přibližně 60 HRC). Ta je důležitá nejen pro dynamicky namáhané průmyslové nože a stříhadla, ale také pro ruční nože, zejména pro nože tábornické, bojové atd.
- **Legované (chromové) oceli** – neboli korozivzdorné, jsou charakterizovány obsahem chromu v rozmezí 12÷18 % a obsahem uhlíku obvykle do 1,2 %. Jejich struktura je martenzitická, jsou kalitelné a velmi odolné proti popouštění. Tyto oceli jsou vhodné na všechny typy nožů a nachází své uplatnění i v potravinářském a zdravotnickém průmyslu, kde musí oceli splňovat přísné hygienické předpisy, hlavně co se týče nezávadnosti a korozivzdornosti. Navzdory své korozivzdornosti, jsou odolné jen v méně agresivních prostředích, např. nožířství, zdravotnictví, potravinářství atd.

Výběr nástrojových, konvenčně vyrobených ocelí v této práci, byl proveden na základě průzkumu - nejpoužívanějších ocelí na výrobu čepelí v sériové výrobě a také nožířů. V tab. 1 jsou uvedeny vybrané materiály podle známých norem a firem. Zleva: dle ČSN (označení některých ocelí je již neplatné, ale v praxi stále běžně používané), dle bývalé POLDI, podle DIN EN ISO 4957, podle švédské společnosti BÖHLER, dle ČSN EN 10 027-2 a podle normy Spojených států amerických - AISI.

Tab. 1 Označení ocelí podle vybraných norem [2], [16], [18].

ČSN	POLDI	DIN	BÖHLER	W.Nr.	AISI
19 313	STABIL SPECIAL	90 MnCrV 8	K 720 SA	1.2842	O2
19 314	STABIL K	100 MnCrW 4	K 460	1.2510	O1
19 191	EZH	C105W2	K 990	1.1645	1095
19 571 PH	RAZ 1	X100 CrMoV 5 1	K 305	1.2606	A2
19 573	-	X155 CrVMo 12 1	K 110	1.2379	D2
19 662	TBM 1	54 NiCrMoV6	W 500	1.2711	L6
19 830	MAX.SPEC.M05	HS6-5-2C	S 600	1.3343	M2
17 029	AK5	X 46 Cr 13	N 540	1.4034	-
17 042	AK9	X 90 CrMoV 18	N 685	1.4112	440C
-	-	X105 CrCoMo18-2	N 690	1.4528	-
14 260	SCH	54 SiCr 6	F 204 SA	1.7102	-

V tab. 2 jsou uvedena chemická složení vybraných ocelí.

Tab. 2 Orientační chemické složení vybraných nožířských ocelí [v hm.%] [2], [21], [22], [23].

Označení oceli	Uhlík C [%]	Chrómov Cr [%]	Mangan Mn [%]	Wolfram W [%]	Vanad V [%]	Molybden Mo [%]	Nikl Ni [%]	Cobalt Co [%]
O1	0,85 ÷ 1,0	0,5	1,20	—	0,30	1,3	—	—
O2	0,85 ÷ 0,95	0,35	1,6	—	0,30	0,3	—	—
1095	0,9 ÷ 1,03	—	0,3 ÷ 0,5	—	—	—	—	—
A2	1,0	5,25	0,85	—	0,25	1,1	—	—
D2	1,55	11,5	—	—	0,8	0,9	—	—
L6	0,5 ÷ 0,6	0,6 ÷ 0,8	0,65 ÷ 0,95	—	0,07 ÷ 0,12	0,25 ÷ 0,35	1,5 ÷ 1,8	—
M2	0,8 ÷ 0,9	3,8 ÷ 4,6	max.0,45	5,5 ÷ 7,0	1,5 ÷ 2,2	4,5 ÷ 5,5	—	—
AK5	0,4 ÷ 0,5	14 ÷ 16	max.0,9	—	—	—	—	—
440C	0,9	17,5	0,4	—	0,1	1,1	—	—
N690	1,08	17,3	0,4	—	0,1	1,1	—	1,5
14 260	0,5 ÷ 0,6	0,5 ÷ 0,7	0,5 ÷ 0,8	—	—	—	max.0,5	—

Stručný popis vybraných nožířských ocelí: [2], [21], [22], [23]

- **O1** – uhlíková nástrojová ocel, s vynikajícím držením ostří, dobrou obrobiteľnosť, je vhodná i na svařování v damaškovém paketu. Velmi snadno však podléhá korozi, proto je nutné dbát na správnou údržbu (po použití čepel otřít do sucha, občas přetřít olejem).
 - **Použití:** třískové obráběcí nástroje na výrobu závitů, frézy, výstružníky, razidla atd.

- **O2** – uhlíková nástrojová ocel, se střední prokalitelností, se zvláště dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování, dobrou řezivostí a odolností vůči opotřebení. Odolnost vůči korozi je nízká. Tato ocel je vhodná i na svařování v damaškovém paketu.
 - **Použití:** Střížné nástroje, stříhání a děrování materiálu menších tlouštěk, tvarově složité nástroje. Nože a nůžky, talířové a kotoučové nože pro řezání papíru, nástroje na ohýbání, zakružování a tažení. Malé formy po tváření plastů, méně namáhané formy pro tváření práškových hmot, porcelánu a keramických materiálů, měřidla, kalibry, šablony.
- **1095** – vysoce uhlíková ocel s vysokými hodnotami tvrdosti, po tepelném zpracování může dosahovat až 66 HRC. Má dobré řezné vlastnosti, avšak je náchylná k vylamování fasety ostří. Vzhledem k nízké prokalitelnosti, je vhodná na menší čepele. Odolnost vůči korozi je velmi nízká, což lze řešit použitím povlaku viz obr. 15.



Obr. 15 Taktický nůž Ka-bar [21]

- **A2/Airkool** – je zápustková ocel s tvrdostí v rozmezí 60 - 62 HRC. Odolnost vůči opotřebení je průměrná, ale je houževnatá, má výbornou rozměrovou stálost a není náchylná k lámání a praskání.
 - **Použití:** v různých aplikacích, které vyžadují poměrně vysokou odolnost vůči opotřebení, např: zápustky, průmyslové nože, tažné nástroje, děrovací nástroje a další.
- **D2/Airdi 150** – vysokouhlíková nástrojová ocel, s vyšším obsahem chrómu (11,5%), a dosažitelnou tvrdostí 60 – 62 HRC. Vzhledem k velkému objemu karbidů ve struktuře, je její odolnost vůči opotřebení vynikající. Vyšší obsah chrómu jí zaručuje poměrně dobrou korozivzdornost, ale v kombinaci s vyšším obsahem uhlíku, je ocel náchylnější k lámání a praskání.
 - **Použití:** razidla, zápustky, ideální volba především pro nože tábornické (nože na přežití, bojové, lovecké atd.)
- **L6** – středněuhlíková slitinová ocel s vysokou tvrdostí (58 – 66 HRC), a výbornou odolností vůči opotřebení. Vzhledem k vysoké tvrdosti, je náchylnější vůči vylamování fasety ostří. Nízký obsah chrómu má za následek velmi nízkou odolnost vůči korozi. Umožňuje hlubší zakalení.
 - **Použití:** nože strojních nůžek, formy pro lisování plastických hmot, všechny druhy ručních nožů. Vzhledem k tomu, že lze dosahovat vysoké houževnatosti čepele, je ideální volbou např. pro mačety a sekáče s dlouhými čepelemi.
- **M2** – molybdenová rychlořezná ocel s vysokou tvrdostí, výbornými řeznými vlastnostmi, vynikající tlakovou zatížitelností, vysokou tvrdostí za tepla a dobrou houževnatostí. Je to jedna z nejpoužívanějších rychlořezných ocelí, s velmi dobrou odolností proti ztrátě pevnosti i při vysokoteplotním řezání. Vyznačuje se také vysokou prokalitelností

a jemnozrnnou strukturou. M2 je kalitelná až na 67 HRC, a takto tepelně zpracovaná se používá u pilových plátů na železo. Vzhledem k nižšímu obsahu chrómu, je náchylná ke korozi.

- **Použití:** průmyslové nože, frézy, spirálové vrtáky, závitníky a mnoho jiných nástrojů. Z ručních nožů je vhodná a používaná zejména na nože tábornické, bojové, obranné atd.
- **AK5** – martenzitická, korozivzdorná ocel, s dobrou obrobitelností.
 - **Použití:** např. Speciální nože, nůžky, kuchyňské nože a obráběcí nože. Tento materiál byl vybrán pro praktickou část této práce, kde bude provedeno jeho tepelné zpracování a následně zkoumána mikrostruktura, a také zkouška třibodovým ohybem a zkouška tvrdosti podle Rockwella, s následným zhodnocením.
- **440C/AK9** – je ocel s přídavkem molybdenu, vanadu a vysokým obsahem chrómu. Je charakteristická tvrdostí (28-59 HRC) a odolností proti opotřebení, spojenou s velmi dobrou odolností vůči korozi.
 - **Použití:** řezné nástroje všeho druhu, vyžadující vynikající odolnost proti korozi, jako jsou např. řezné chirurgické nástroje, přístroje, všechny druhy ručních nožů, s čepelemi různých tvarů a velikostí viz obr. 16.



Obr. 16 Mačeta Elite Force [24]

- **N690** – cobaltová, korozivzdorná ocel vyráběná švédskou firmou Böhler Uddenholm, je ekvivalentem oceli 440C ale je obohacena o 1,5% cobaltu. Tvrdost po tepelném zpracování je obvykle v rozmezí 58 - 60 HRC. Vysoký obsah uhlíku zajišťuje odolné ostří, vynikající řezné a brusné vlastnosti, a vzhledem k vysokému obsahu chrómu, se také vyznačuje excelentní korozivzdorností.
 - **Použití:** vzhledem k velmi dobrým vlastnostem, je tato ocel používána na různé strojírenské, potravinářské, farmaceutické, nožířské aplikace např. čepele nožů, chirurgické řezné nástroje, kotoučové nože pro masný průmysl, díly pro průmyslové váhy, potravinářský průmysl, speciální zakázkové nože, průmyslové nože atd. Tento materiál byl vybrán pro praktickou část této práce, kde bude provedeno jeho tepelné zpracování a následně zkoumána mikrostruktura, a také zkouška třibodovým ohybem a zkouška tvrdosti podle Rockwella, s následným zhodnocením.
- **14 260** – je pružinová ocel, s tvrdostí v rozmezí 52 - 58 HRC a s vysokou houževnatostí. Nízký obsah chrómu má za následek slabou odolnost vůči korozi.
 - **Použití:** vhodná na výrobu pružin, dlouhých čepelí pro meče, mačety, parangy, sekáče, bojové nože a další.

Vybrané nožířské oceli (popsané výše), jsou preferované mezi nožíři i v sériové výrobě. Existuje mnoho dalších nástrojových ocelí, používaných na výrobu čepelí, např.: 420HC, 440A, 12C27, W-2, A-36, ATS 34, VG-10, INOX, 12C27M, AUS4-A, AUS6-A, AUS8-A, 8C13CrMoV atd.

2.2.2 Nástrojové oceli, vyrobené práškovou metalurgií

V současnosti jsou pro nože a nástroje často využívány také materiály vyrobené práškovou metalurgií, kdy je kovový materiál lisován a spékán za vyšších teplot do podoby kompaktního materiálu. Kovový prášek umožňuje výrobu velmi jemnozrnných materiálů u kterých je v důsledku nízké velikosti zrna dosahováno vysokých hodnot meze kluzu a meze pevnosti (Hall-Petchova rovnice). Standardně se výroba materiálů vyrobených práškovou metalurgií sestává z následujících operací: [25]

- **výroba prášku** – různými metodami, např. mletí, drcení, rozprašování tekutého kovu, chemická redukce a rozklad, redukce vodních roztoků solí kovů plyny (obvykle vodíkem nebo oxidem uhelnatým), Hydro-dehydrogenační proces (HDH), elektrolýzou kovových solí atd.
- **úprava, třídění a čištění** – za účelem získání určité velikosti částic (prosíváním, sedimentací, vzdušnou separací), a zbavení prášků cizorodých částic (např. elektrostatickou nebo magnetickou separací). Někdy je nutné i odplynování, které se provádí obvykle vakuovým žíháním.
- **pojiva, maziva, mísení prášků a homogenizace** – kdy se do připravených prášků přidají pomocné látky (plastifikátory, maziva), které zlepšují lisovatelnost a zmenšují tření (mezi částicemi i mezi stěnou formy). Maziva se musí před slinováním odstranit (ohřátím nad teplotu vypařování maziva, nebo přidáním pojiv a plastifikátorů). Homogenizací a mísením se dosahuje rovnoměrné směsi, kterou lze ještě zlepšit použitím plniv a stabilizátorů.
- **zhuťňování výrobků z prášků** – je prováděno s cílem dosáhnout homogenitu zhuťnění v celém objemu a minimalizování pórovitosti slinutého materiálu. Toho lze docílit zhuťňováním s použitím tlaku (lisování, izostatické lisování, lisování explozí, válcování, protlačování, kování), nebo bez použití tlaku (volné slinování ve formě, vibrační tvarování, keramické lití).
- **slinování** – tepelné zpracování při homologických teplotách 0,65 až 0,80 složky s nejvyšší teplotou tavení. Působením tlaku, teploty, nebo kombinací tlaku a teploty, dochází k odstraňování pórovitosti materiálu a k jeho celkovému zhuťnění. Rozdělujeme na: **slinování jednosložkových soustav** (jen v tuhém stavu), **slinování vícekomponentních systémů**, kdy lze slinovat směsi různých kovů (i zcela nerozpustných) a kovy s nekovy, a **slinování za vzniku kapalné fáze** (slinuté karbidy, materiály na bázi měď-olovo apod.).

Vybrané nožířské oceli z této skupiny jsou vyrobené metodami CPM (Crucible Particle Metallurgie) a technologií RSP (Rapidly Solidified Processing).

Crucible Particle Metallurgy (CPM®) je patentovaný proces, který začíná homogenní roztavenou lázní, podobně jako u konvenčního tavení. Roztavený kov se potom leje přes malou trysku, kde se působením vysokotlakého plynu proud kapaliny promění do stavu sprejové mlhy drobných kulových kapiček. Ty rychle tuhnou a ukládají se v podobě prachových částic se stejnorodým chemickým složením, na dně zásobníku. Odtud je prášek proséván a vtlačován do plechové nádoby, která je následně vakuována a uzavřena. Uzavřené nádoby se lisují při teplotách přibližně stejných jako při kování. Extrémně vysoký tlak zpevňuje prášek lepením jednotlivých částic do kompaktního materiálu. Výsledná

mikrostruktura je homogenní, jemnozrnná a vykazuje rovnoměrné rozložení jemných karbidů. Zesintrovaný práškový materiál je dále válcován klasicky do tyčového polotovaru. [26]

Hrubá karbidická struktura ocelí, vyráběných konvenčními metodami, omezuje pevnost v lomu. Shluky karbidů se mohou chovat jako iniciátoři lomu na určitém stupni namáhání. V ocelích vyrobených metodou RSP jsou podstatně menší shluky karbidů, k lomu obvykle dochází až při téměř dvojnásobném stupni namáhání. Práškové oceli mohou mít téměř dvojnásobnou pevnost v lomu než běžné oceli. Pro nožířské účely jsou tyto martenzitické, korozivzdorné oceli, vhodné na všechny druhy nožů. V tab. 3 je uvedené chemické složení vybraných ocelí. [27]

Tab. 3 Chemické složení ocelí vyrobených práškovou metalurgií [hm. %] [22],[23],[28],[29].

Oceli vyrobené práškovou metalurgií	C [%]	Cr [%]	Mn [%]	V [%]	Mo [%]	Nb [%]
CPM® 3V®	0,8	7,5	—	2,75	1,3	—
CPM® 10V®	2,45	5,25	0,5	9,75	1,3	—
CPM® 15V®	3,4	5,25	0,5	14,5	1,3	—
CPM® S30V®	1,45	14,0	—	4,0	2,0	—
CPM® S35VN®	1,4	14,0	—	3,0	2,0	0,5
CPM® S90V®	2,3	14,0	—	9,0	1,0	—
ELMAX	1,7	18,0	0,3	3,0	1,0	—
RWL 34	1,05	14,0	0,5	0,2	4,0	—

Stručný popis a vlastnosti ocelí vyrobených práškovou metalurgií: [22], [23], [28], [29]

- **CPM® 3V®** - chemické složení této oceli, ji zaručuje extrémně vysokou houževnatost, která se blíží nástrojovým ocelím pro tváření za tepla. Má výbornou odolnost proti vylamování, proto se obvykle používá v provozech, ve kterých často dochází k popraskání nebo lámání nástrojů. Dále má velmi dobrou odolnost vůči opotřebení a výborně drží ostří. I přes velkou houževnatost, poskytuje vysokou tvrdost v rozmezí 58 - 60 HRC.
 - **Použití:** průmyslové nože a nůžky, lisovací a střížné nástroje, nástroje pro přesné stříhání, sintrovací nástroje atd., ale také např. ručně vyráběné kapesní nože prémiové německé značky Böker Manufaktur Solingen, a nože s pevnou čepelí od známých amerických výrobců jako např. Cold Steel, Bark River.
- **CPM® 10V®** - se zvýšeným obsahem uhlíku a vanadu, zajišťuje nástrojům vynikající odolnost vůči opotřebení při zachování houževnatosti. Vyznačuje se také vynikající rozměrovou stabilitou, brusitelností a vysokou houževnatostí, ve srovnání s oceli vyrobenými konvenčními postupy.

- **Použití:** střížné a lisovací nástroje i pro tlustší plechy, průmyslové nože (na papír, fólie), razidla pro děrování, nástroje pro přesné stříhání, ale také tuto ocel používá pro výrobu zavíracích nožů např. známý výrobce Spyderco.
- **CPM® 15V®** - s vysokým obsahem uhlíku (3,4%) a vanadu (14,5%), což zajišťuje vysokou tvrdost (59-62 HRC) a zlepšení kvality ostří, ale má také za následek zhoršenou obrobitelnost. Má také vynikající odolnost vůči opotřebení. Vysoký obsah vanadu, zajišťuje delší trvanlivost ostří.
 - **Použití:** zápustky, střížné a lisovací nástroje, řezné nástroje, formy pro přesné lití, tažné a děrovací nástroje, kotoučové nože, sintrovací nástroje a další.
- **CPM® S30V®** - nabízí nejlepší kombinaci houževnatosti, odolnosti proti opotřebení a odolnosti proti korozi. Vanad podporuje tvorbu karbidů, které jsou tvrdší a účinnější než karbidy chromu, při zajištění odolnosti proti opotřebení. Tato ocel nabízí podstatné zlepšení houževnatosti oproti jiným ocelím s vysokou tvrdostí.
 - **Použití:** Speciální nože, střížné nástroje, komponenty pro potravinářské a chemické zpracování a další.
- **CPM® S35VN®** - má lepší houževnatost oproti CPMS30V. Také se lépe obrábí a leští. Substituce karbidů niobu pro některé karbidy vanadu dělá z CPM S35VN o 15-20% tvrdší ocel než CPM S30V, bez ztráty odolnosti vůči opotřebení. Vyšší houževnatost této oceli, poskytuje lepší odolnost proti vylamování fasety ostří.
- **CPM® S90V®** - je ocel s vysokým obsahem uhlíku a vanadu, s mimořádně dobrou odolností vůči opotřebení. Vysoký obsah vanadu podporuje tvorbu tvrdých karbidů vanadu namísto karbidů chromu pro odolnost vůči opotřebení, takže v matici zůstává dostatek chromu pro zajištění dobré odolnosti proti korozi.
 - **Použití:** průmyslové nože, střížné nástroje, speciální nože, ložiska, pouzdra, ventily, válečková převodová čerpadla a další.
- **ELMAX** – vysokouhlíková chróm-molybden-vanadová slitinová ocel vyrobena metodou RSP od švédského výrobce Uddeholm, s dosažitelnou tvrdostí 58 – 62 HRC, se vyznačuje výbornou odolností vůči opotřebení v kombinaci s vysokou odolností vůči korozi. Má velmi dobrou rozměrovou stálost a pevnost v tlaku. Dále se vyznačuje velmi dobrou obrobitelností a řezivostí.
 - **Použití:** v oblasti Hi-Tech (např. konektorové spínače, vypínače, integrované spínací komponenty atd.), všechny druhy ručních zakázkových nožů, v potravinářském průmyslu - průmyslové nože (s dlouhou životností a nízkými náklady na údržbu), a další.
- **RWL 34** – ocel od švédské firmy Söderfors, vyráběná metodou RSP. Nejlepší kombinace tvrdosti a síly, kde stabilita ostří nástroje je základem. Po správném tepelném zpracování, má vynikající dynamickou, lomovou houževnatost a tvrdost v rozmezí 59 ÷ 64 HRC. Je vhodná a také často používaná na tvorbu damascenské struktury. Tento materiál byl vybrán pro praktickou část této práce, kde bude provedeno jeho tepelné zpracování a následně zkoumána jeho mikrostruktura, a také zkoušky ohybem a tvrdosti s následným zhodnocením.

Existuje mnoho dalších práškových ocelí, používaných na výrobu čepelí např. 154CM, 440V, BG-42, ZDP-189, SGPS, M390(Böhler) a další.

2.2 Speciální druhy nožírských ocelí

Mezi speciální druhy nožírských ocelí patří svářková, sendvičová, Damascenská, Bulat, Wootz apod. V této kapitole jsou některé z nich uvedené, a stručně popsane.

2.2.1 Sendvičová ocel

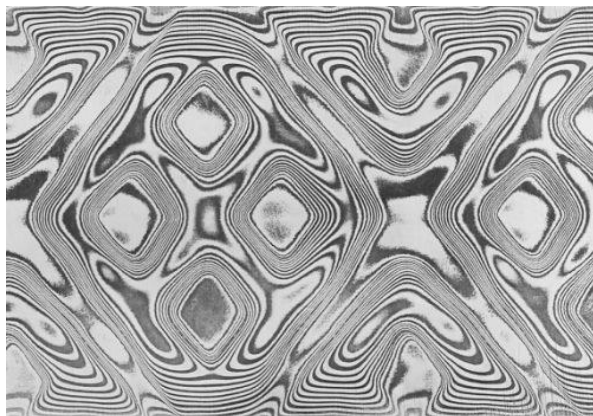
Jedná se o čepel vzniklou kovářským svařením vícevrstvého paketu, do kterého se poskládají různé typy ocelí minimálně do 3 vrstev. Tvrdá uhlíková ocel se umístí doprostřed paketu a na boky měkčí houževnatá ocel. Získá se tak houževnatá čepel na povrchu, s tvrdým jádrem, to znamená trvanlivým ostřím. Druhá možnost je poskládat paket naopak, čímž se získá houževnaté jádro s pevnou a tvrdou čepelí na povrchu.

2.2.2 Damascenská ocel

Pokud se daný trojvrstvý materiál viz ods.2.2.1, bude překládat a dále kovářsky svařovat pro dosažení většího počtu vrstev, lze to považovat za vznik damašku. Paket se pak při určité teplotě kovářsky svaří. Pro dosažení vzorů se v průběhu oceli různě krouť, skládá, přehýbá a překovává. Tím se také docílí vysoké houževnatosti a odolnosti oceli vůči opotřebení. Používá se zejména na zakázkové nože, sekery, mačety, šperky a další.

2.2.3 Damasteel

Jedná se o švédskou ocel vyrobenou práškovou metalurgií s damaškovým efektem. Vyrábí se spékáním vysoce legovaných ocelí, které by jiným způsobem nebylo možné spojit. Principy práškové metalurgie jsou popsány v ods.2.2.2. Krásné kresby viz obr. 17 a 18, kterými je tato ocel charakteristická, vznikají postupným připékáním vrstev jednotlivých ocelí. Kromě toho, že je estetická, je i houževnatá, korozivzorná a odolná vůči opotřebení. Nevýhodou je vysoká cena. [30]



Obr. 17 Damasteel-Baldur [30]



Obr. 18 Damasteel-Bluetongue [30]

2.2.4 Bulat

Jedná se o druh kelímkové lité oceli, která je zpracovaná speciální technologií tavení, kování a tepelného zpracování. Získává tak kombinaci hned několika požadovaných vlastností: tvrdost při zachování houževnatosti, pevnost, trvanlivost ostří a také snadnou brusitelnost. [31]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem práce v praktické části práce bylo u vybrané oceli provést tepelné zpracování oceli a zhodnotit její strukturu, vlastností a vhodnost pro výrobu čepelí nožů. V rámci bakalářské práce byly vybrány tři jakosti ocelí, u kterých bylo použito vždy dvou druhů tepelného zpracování. Na základě zkoušky v ohybu, měření tvrdosti, bylo provedeno posouzení vhodného tepelného zpracování a jeho vlivu na strukturu a vlastnosti čepelí nožů.

Vybrané oceli:

- AK5 (označení dle bývalé POLDI)
- N690 (označení dle výrobce BÖHLER)
- RWL34 (označení dle výrobce DAMASTEEL)

Polotovary pro praktickou část byly dodané v tvářeném stavu po vyžhání na měko. Chemické složení vybraných ocelí viz tab. 4, nebylo analyzováno, vzhledem k tomu, že se jedná o vzorky renomovaných výrobců pro koncového zákazníka.

Tab. 4 Chemické složení testovaných ocelí v [hm. %] [28], [32], [33].

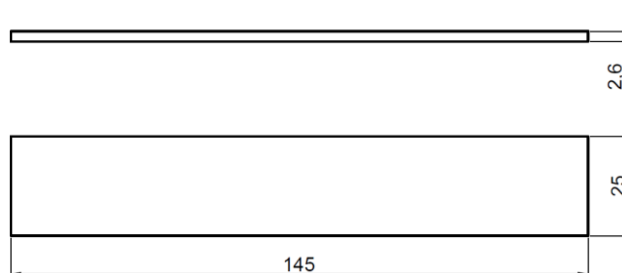
Označení	C [%]	Cr [%]	Mn [%]	Co [%]	V [%]	Mo [%]
AK5	0,4 ÷ 0,5	14,0 ÷ 16,0	max.0,9	—	—	—
N690	1,08	17,3	0,40	1,50	0,1	1,1
RWL 34	1,5	14,0	0,5	—	0,2	4,0

3.1 Příprava vzorků

Z každé porovnávané oceli byly připravené vzorky pro jednotlivé zkoušky. Jako polotovary pro jejich přípravu byly použity plechy o tloušťkách 2,6 (AK5, RWL 34) a 2,7 mm (N690). Od každého materiálu byly připravené 2 soubory vzorků, pro 2 různé způsoby tepelného zpracování. Každý jednotlivý soubor obsahoval 3 vzorky, které byly po tepelném zpracování použité pro zkoušku tříbodovým ohybem a zkoušku tvrdosti. Ze zkušebních těles byly následně připravené metalografické výbrusy pro hodnocení struktury materiálu.

3.1.1 Vzorky pro zkoušku tříbodovým ohybem

Pro zkoušku tříbodovým ohybem byly dle Standard test methods E 855 – 90, připravené vzorky obdélníkového průřezu viz obr. 19, o rozměrech 145 x 15 mm, a tloušťce 2,6 mm, (pro N690 → t = 2,7mm).



Obr. 19 Rozměry zkušebních vzorků

3.1.2 Vzorky pro metalografické hodnocení oceli

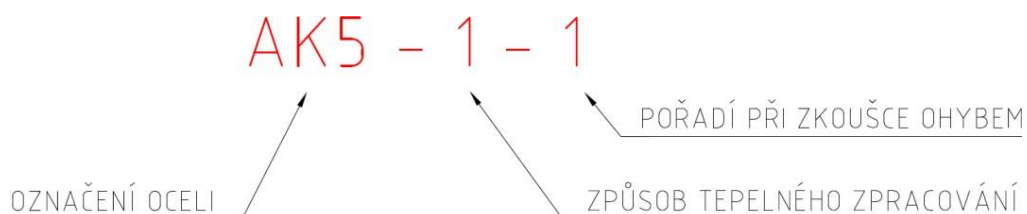
Vzorky pro metalografické hodnocení byly odebrány ze zkušebních těles pro ohybovou zkoušku. Metalografické vzorky byly nařezány na laboratorní pile STRUERS – Labotom3, za použití chlazení vodou, aby se minimalizovalo tepelné ovlivnění materiálu. Nařezané vzorky byly odmaštěné lihem a následně zalisované do epoxidové pryskyřice na stroji ECOPRESS 100 viz obr. 20. Označení vzorků bylo realizováno pomocí elektrického značkovače, po obvodu zalisovaného vzorku – ve tvaru Druh oceli + naměřená tvrdost: např. RWL34-58. Po broušení na automatické brusce (broušení za mokra) za použití brusných papírů o zrnitosti 220, 800, 1200, následovalo konečné leštění diamantovou pastou o zrnitosti 3µm. Vyleštěné vzorky byly naleptané leptadlem Villela, za účelem odstranění tzv. Beilbyho vrstvy a odkrytí vlastní struktury materiálu. Po naleptání byly opláchnuté lihem a vysušené.



Obr. 20 Automatický lis ECOPRESS 100

3.1.3 Systém označení vzorků

Pro jednoduchou identifikaci vzorků byl zvolen popis, který sestává z označení oceli (AK5, N690 a RWL34) – způsobu tepelného zpracování (č.1, č.2) – pořadí při zkoušce třibodovým ohybem (č. 1 až 3), viz obr. 21.



Obr. 21 Schéma označování vzorků

3.1.4 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování všech vzorků bylo provedeno ve společnosti Voestalpine High Performance Metals CZ s.r.o. Tepelné zpracování sestávalo vždy z vakuového kalení a následného několikastupňového popouštění. Použití vakuového kalení je pro tyto materiály s ohledem na zamezení oduhličení povrchu nezbytné. U každé vybrané oceli byly provedené 2 způsoby tepelného zpracování.

➤ Ocel AK5

Tepelné zpracování sestávalo z vakuového kalení a dvoustupňového popouštění v peci s řízeným ochlazováním. Výdrž na kalící teplotě byla s ohledem na tloušťku materiálu cca 3 mm, pouze 20 minut. Rozdíl v tepelném zpracování byl v teplotě druhého popouštěcího cyklu viz tab. 5.

Tab. 5 Parametry tepelného zpracování vzorků oceli AK5.

Způsob	Kalení [°C]	Výdrž na teplotě [min]	Chladicí médium	1.popouštění	2.popouštění
1	1030	20	olej	120°C → 2 h	160°C → 2 h
2	1030	20	olej	120°C → 2 h	510°C → 2 h

➤ Ocel N690

Tepelné zpracování sestávalo opět z vakuového kalení a dvoustupňového popouštění v peci s řízeným ochlazováním. Výdrž na kalící teplotě byla opět pouze 20 minut. Rozdíl v tepelném zpracování byl jako v případě oceli AK5 v teplotě druhého popouštěcího cyklu.

Tab. 6 Parametry tepelného zpracování vzorků oceli N690.

Způsob	Kalení [°C]	Výdrž na teplotě [min]	Chladicí médium	1.popouštění	2.popouštění
1	1030	20	olej	120°C → 2 h	510°C → 2 h
2	1030	20	olej	120°C → 2 h	160°C → 2 h

➤ Ocel RWL34

Tepelné zpracování sestávalo z vakuového kalení a třístupňového popouštění v peci s řízeným ochlazováním. Vyšší počet popouštěcích cyklů souvisí s kaleným materiálem vyrobeným práškovou metalurgií. Rozdíl v tepelném zpracování spočívá v kalící teplotě a v teplotě prvního popouštěcího cyklu viz tab. 7.

Tab. 7 Parametry tepelného zpracování vzorků oceli RWL34.

Způsob	Kalení [°C]	Výdrž na teplotě [min]	Chladicí médium	1.popouštění	2.popouštění	3.popouštění
1	1020	20	olej	510°C → 2 h	510°C → 2 h	510°C → 2h
2	1070	20	olej	120°C → 2h	510°C → 2h	510°C → 2h

3.2 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

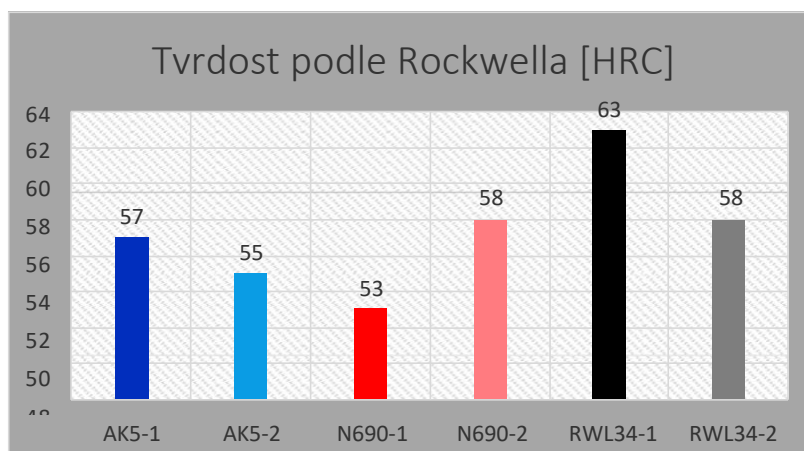
Zkouška tvrdosti jednotlivých vzorků po tepelném zpracování, byla provedena na měřicím přístroji ROCKWELL RB1, v laboratoři Ústavu materiálového inženýrství, VUT Brno. Na zkoušky tvrdosti byly použity zkušební tělesa po provedené ohybové zkoušce.

3.2.1 Výsledky zkoušky tvrdosti

Výsledné hodnoty naměřené při zkoušce tvrdosti jsou uvedené v tab. 8 a v přehledném grafu viz obr. 22. Měření tvrdosti bylo provedeno vždy u každého materiálu pro obě tepelné zpracování a to vždy třikrát u každého vzorku. V tabulce i grafu jsou znázorněné hodnoty tvrdosti vybraných ocelí stanovené jako aritmetický průměr ze 3 měření.

Tab. 8 Přehled výsledných hodnot zkoušky tvrdosti podle Rockwella.

OZNAČENÍ VZORKŮ	VZOREK Č.1 Tvrdost [HRC]	VZOREK Č.2 Tvrdost [HRC]	VZOREK Č.3 Tvrdost [HRC]	STŘEDNÍ HODNOTA Tvrdost [HRC]
AK5-1- 1 až 3	57	57	56	57
AK5-2- 1 až 3	55	56	55	55
N690-1- 1 až 3	53	54	53	53
N690-2- 1 až 3	58	58	58	58
RWL34-1- 1 až 3	62	63	63	63
RWL34-2- 1 až 3	58	58	58	58



Obr. 22 Graf středních hodnot tvrdosti

Z výsledků měření tvrdosti lze vyvodit několik závěrů:

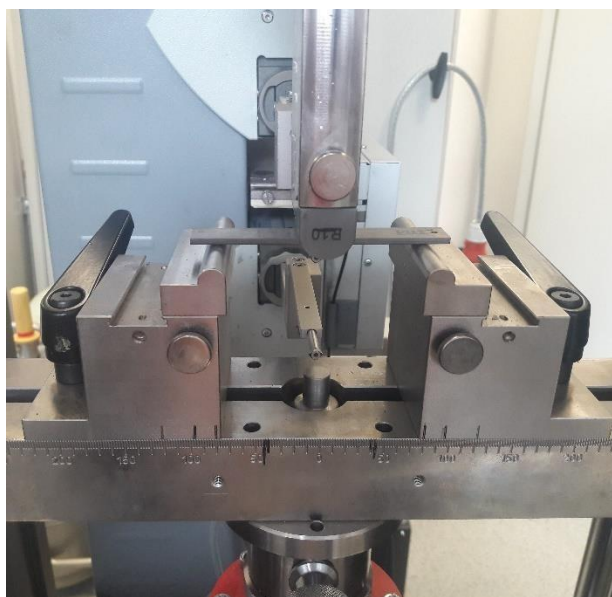
- Rozptyl naměřených hodnot tvrdosti pro daný materiál a dané tepelné zpracování je minimální, což ukazuje na homogenitu struktury a vlastností tepelně zpracovaného materiálu.
- Naměřené tvrdosti odpovídají výše uvedeným rozmezím tvrdostí pro dané materiály. Z hlediska tvrdosti byly naměřeny nejvyšší hodnoty u oceli vyrobené práškovou metalurgií RWL 34. U této oceli lze očekávat vysokou odolnost vůči otupení.
- Tvrdosti materiálů vyrobených konvenční technologií AK5 a N690 jsou srovnatelné.
- Vysoké hodnoty tvrdostí však nemusí být vždy výhodné, neboť s vysokou tvrdostí může souviset i sklon k vylamování ostří a nižšími plastickými a elastickými vlastnostmi.

3.3 Zkouška tříbodovým ohybem

Statická zkouška tříbodovým ohybem byla na všech vzorcích provedena na zařízení ZWICK ROELL Z250 viz obr. 23 a 24, se senzorem průhybu MULTI Xtens, umístěným v laboratoři Ústavu materiálového inženýrství, VUT Brno.

Nastavení parametrů pro provedení měření:

- Vzdálenost podpor → 80 mm
- Poloměr podpor → R5
- Ohýbací trn → R10
- Rychlost příčnicku → 15mm/min



Obr. 23 Detail uložení vzorku pro ohyb



Obr. 24 Zařízení ZWICK ROELL Z250

Zkouška ohybem byla provedena na tepelně zpracovaných vzorcích o rozměrech 2,6 - 2,7 x 15 mm viz ods.3.1.1. Pro každou testovanou ocel byly zkoušeny 2 soubory vzorků podle tepelného zpracování. Výsledky byly propočítané softwarem zařízení.

Výstupem je graf znázorňující průběh zatížení až do rozlomení jednotlivých zkušebních vzorků a tabulka s výslednými hodnotami jednotlivých parametrů.

3.3.1 Výsledky zkoušky ohybem

Výsledné hodnoty naměřené při zkoušce tříbodovým ohybem jsou uvedené v tab. 9. Průběh zatížení a deformace je uveden v grafu viz obr. 24.

Tab. 9 Přehled výsledků stanovených při ohybové zkoušce vybraných ocelí.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Notes	E_{mod}	$F_p 0.1\%$	$R_p 0.2$	F_{max}	σ_M	dL at F_{max}	$dL(plast.)$ at F_{max}	a_0	b_0	S_0
	GPa	N	MPa	N	MPa	mm	mm	mm	mm	mm ²
AK5-1 -1	207,8651	1967,6	2710,1	2364,4	2979,6	7,740	1,756	2,553	14,61	37,29933
AK5-1 -2	207,0622	1969,8	2690,4	2369,1	2971,2	7,798	1,817	2,553	14,68	37,47804
AK5-1 -3	206,6778	1951,1	2674,5	2274,4	2864,1	7,155	1,391	2,553	14,62	37,32486
AK5-2 -1	202,5309	1826,7	2519,3	2314,4	2943,2	9,120	3,106	2,544	14,58	37,09152
AK5-2 -2	199,9268	1812,6	2499,1	2307,9	2969,7	9,894	3,736	2,544	14,41	36,65904
AK5-2 -3	201,1827	1815,7	2495,9	2364,2	2990,2	10,176	4,009	2,544	14,66	37,29504
N690-1 -1	205,099	2075,6	2485,6	2337,7	2520,6	5,646	0,851	2,733	14,9	40,7217
N690-1 -2	201,6637	2066,3	2480,4	2562,9	2767,1	7,042	1,707	2,733	14,88	40,66704
N690-1 -3	201,7252	2065,9	2466,1	2451,8	2657,9	6,386	1,262	2,733	14,82	40,50306
N690-2 -1	209,0264	2182,6	2637,3	2449,3	2685,8	5,935	0,891	2,722	14,77	40,20394
N690-2 -2	208,3007	2199,4	2648,4	2504,3	2725,7	6,146	1,014	2,722	14,88	40,50336
N690-2 -3	211,7913	2203,8	2664,2	2635,0	2871,9	6,670	1,342	2,722	14,86	40,44892
RWL-1 -1	209,9693			2302,3	2737,7	5,612	0,283	2,606	14,86	38,72516
RWL-1 -2	210,4707			2068,2	2446,1	4,901	0,153	2,606	14,94	38,93364
RWL-1 -3				1413,8	1685,8	3,248		2,605	14,83	38,63215
RWL-2 -1	214,5707	2230,8		2420,4	2940,3	6,252	0,638	2,602	14,59	37,96318
RWL-2 -2	213,1502			2153,8	2654,7	5,367	0,267	2,602	14,38	37,41676
RWL-2 -3	214,5781	2346,6		2475,1	2984,3	6,243	0,547	2,602	14,7	38,2494

Ve sloupci 1 je uveden modul pružnosti v tahu vypočítaný z výsledků ohybové zkoušky. Výsledné hodnoty ukazují, že naměřené parametry ohybové zkoušky byly stanoveny správně a přesně. Ve sloupci 2 je zátěžná síla při deformaci vzorku 0,1 %. Smluvní mez kluzu při deformaci 0,2 % je uvedena ve sloupci 3. Z hodnot vyplývá, že nebyla stanovena u práškové oceli, kde nebylo těchto deformací dosaženo. Maximální zátěžná síla je uvedena ve sloupci 4 a mez pevnosti v ohybu ve sloupci 5. Tento parametr je detailně popsán ještě níže.

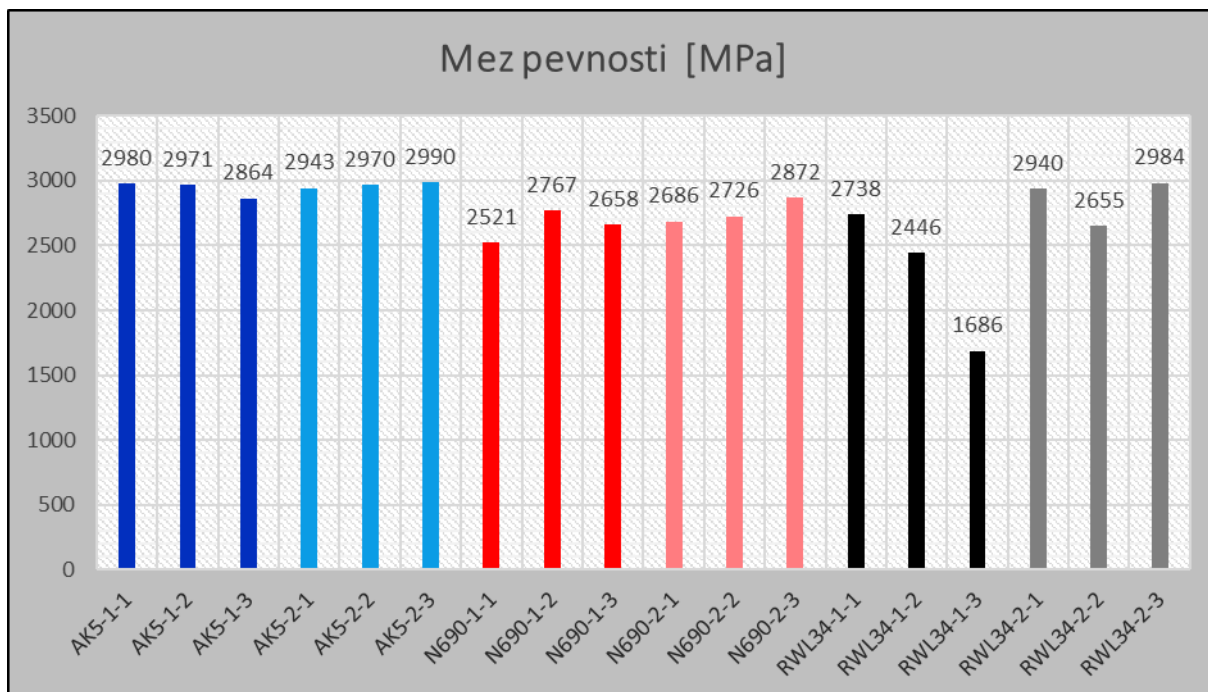
Důležité výsledky jsou uvedeny ve sloupci 6 a 7, kde je uveden celkový průhyb zkušebního tělesa (sloupec 6) a trvalá deformace vzorku (sloupec 7). Ve sloupci 8, 9 a 10 jsou uvedeny přesné rozměry zkušebního vzorku.

Výsledky meze pevnosti v ohybu pro jednotlivé zkoumané oceli a tepelná zpracování jsou uvedeny v tab. 10 a přehledně jsou znázorněny na obr. 25. V tab. 10 jsou uvedeny naměřené hodnoty včetně střední hodnoty, určené jako aritmetický průměr a hodnoty směrodatné odchylky.

Tab. 10 Přehled výsledných hodnot Meze pevnosti σ_M vybraných ocelí.

OZNAČENÍ VZORKŮ	Střední hodnota Ohybové zatížení F_{max} [N]	VZOREK Č.1 Mez pevnosti σ_M [MPa]	VZOREK Č.2 Mez pevnosti σ_M [MPa]	VZOREK Č.3 Mez pevnosti σ_M [MPa]	STŘEDNÍ HODNOTA Meze pevnosti σ_M [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]
AK5-1- 1 až 3	2335	2980	2971	2864	2938	52,7
AK5-2- 1 až 3	2328	2943	2970	2990	2967	19,3
N690-1- 1 až 3	2451	2521	2767	2658	2648	100,6
N690-2- 1 až 3	2529	2686	2726	2872	2761	79,9
RWL34-1- 1 až 3	1928	2738	2446	1686	2290	443,4
RWL34-2- 1 až 3	2349	2940	2655	2984	2859	145,8

Vypočítané střední hodnoty ohybového zatížení F_{max} a Meze pevnosti σ_M , byly zaokrouhleny směrem dolů.

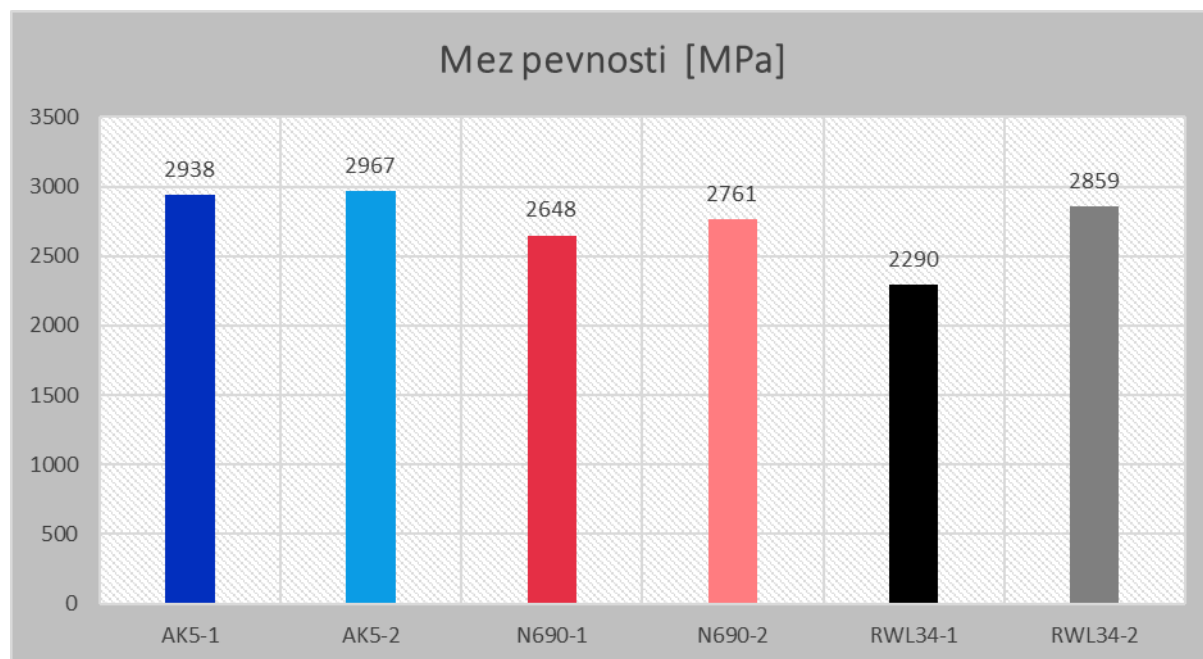


Obr. 25 Graf naměřených hodnot meze pevnosti v ohybu jednotlivých vzorků

AK5 – z obr. 26 vyplývá, že meze pevnosti u oceli AK5 jsou při daných režimech tepelného zpracování zcela srovnatelné. Dosažená tvrdost oceli AK5 u tepelného zpracování 1 byla cca 57 a u tepelného zpracování 2 cca 55. Celkový průhyb při ohybové zkoušce byl přibližně o 20 % nižší při tepelném zpracování 1 a plastická deformace je přibližně poloviční. U čepele nože není trvalá deformace žádoucí a hodnoty pružného průhybu (elastické deformace) jsou zcela srovnatelné. Na základě výsledků ohybové zkoušky s přihlédnutím k tvrdosti čepele nože lze doporučit použití režimu tepelného zpracování označeném číslem 1.

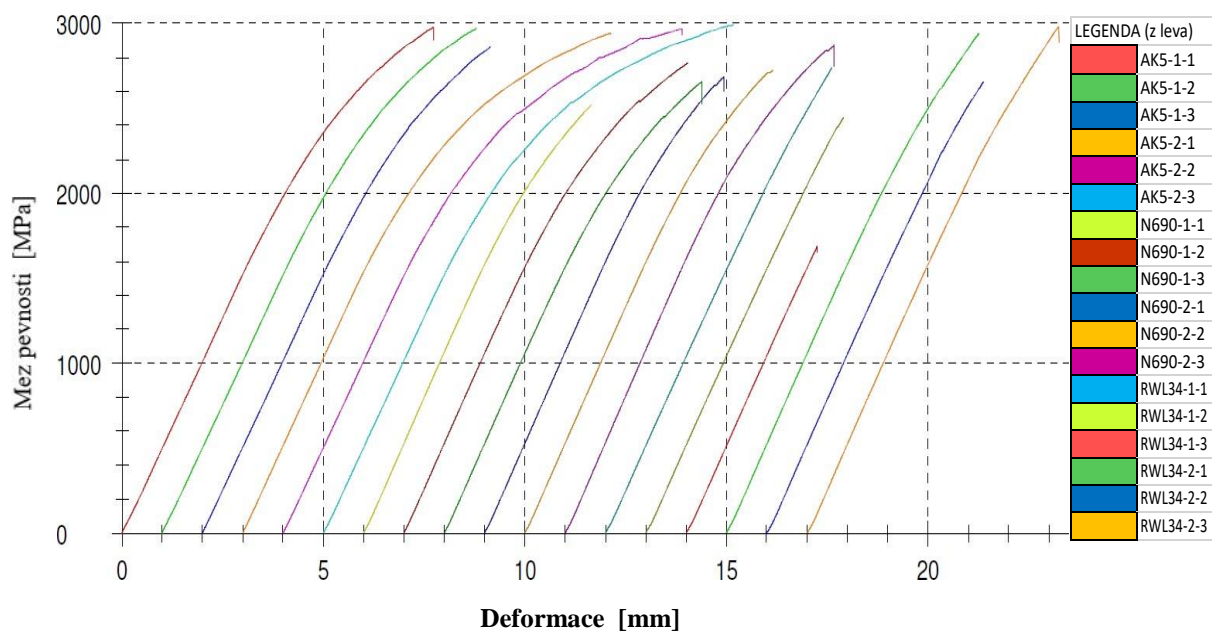
N690 – u oceli N690 jsou podobně jako u AK5 srovnatelné meze pevnosti při obou způsobech tepelného zpracování. Dosažená tvrdost u tepelného zpracování č.1 byla cca 53 HRC a u způsobu č.2 cca 58 HRC. Srovnatelný byl i celkový průhyb při ohybové zkoušce a stejně tak i trvalá - plastická deformace. Na základě těchto výsledků lze doporučit použití režimu tepelného zpracování č.2, s dosaženou tvrdostí 58 HRC.

RWL34 – u této oceli nelze výsledky ohybové zkoušky adekvátně vzájemně posoudit, protože byly ovlivněny předčasným lomem u třetího vzorku tepelného zpracování č.1. Výsledná průměrná hodnota meze pevnosti je 2290 MPa, což je cca o 20 % méně, než u tepelného zpracování č.2. Vzhledem k vysoké hodnotě směrodatné odchylky u tepelného zpracování č. 1 více než 440 MPa není toto porovnání reprezentativní. Způsob tepelného zpracování č.2 vedl k vyšším hodnotám z hlediska plastické deformace, pružného průhybu a meze pevnosti při zkoušce ohybem, ale k nižší tvrdosti cca 58 HRC. Tato tvrdost byla dosažena i u konvenčních typu ocelí AK5 a N690. Použití ocelí vyrobených práškovou metalurgií je částečně vedeno snahou po dosažení větší stálosti ostří proti otupení, které je dosahováno právě vyšší tvrdostí čepele. Lze doporučit v dalších pracích se vlivem tepelného zpracování práškově zhotovených ocelí zabývat.



Obr. 26 Graf vypočítaných středních hodnot Meze pevnosti pro soubory vzorků

Grafický záznam ohybové zkoušky je znázorněn na obr. 27. Na ose x jsou vyneseny celkové deformace pro všechna zkušební tělesa. Na ose y je vynesena hodnota meze pevnosti v ohybu.



Obr. 27 Průběh křivek meze pevnosti u sledovaných vzorků při ohybové zkoušce

3.4 Metalografické hodnocení vzorků

V této části práce byla zkoumána mikrostruktura vybraných ocelí, po tepelném zpracování. Metalografické hodnocení vzorků, bylo provedeno na optickém světelném mikroskopu Olympus na pracovišti Ústavu materiálových věd a inženýrství. Snímky struktur byly pořízeny v leptaném stavu při 500 násobném zvětšení.

➤ Ocel AK5

Na obr. 28 je zobrazený snímek struktury materiálu po tepelném zpracování způsobem č.2 (Kalení: 1030°C-20min/Popouštění: 120°C-2h → 510°C-2h/Tvrdost 55 HRC). Vzhled struktury byl u obou způsobů tepelného zpracování v podstatě shodný a proto je níže graficky uveden pouze příklad struktury po zpracování č. 2.

Struktura vzorku je tvořena popuštěným martenzitem. Ve struktuře jsou obsaženy drobné bílé útvary – karbidy o velikosti přibližně 2 μm . Karbidy jsou v matici rozptýlené rovnoměrně, jak uvnitř zrn tak zejména na jejich hranicích. Velikost zrna se pohybuje v rozmezí 1 – 5 μm . Bližší popis z metalografického vzorku na světelném mikroskopu nebyl možný. Lze doporučit v dalším výzkumu provést detailnější analýzu (měření mikrotvrdosti, SEM atp.).



Obr. 28 Snímek mikrostruktury oceli AK5-55/zvětšeno 500x

➤ Ocel N690

Na obr. 29 je zobrazena struktura materiálu po tepelném zpracování způsobem č.1 (Kalení:1030°C-20min/Popouštění:120°C-2h → 510°C-2h/Tvrdost 53 HRC). Z důvodu téměř totožných vzhledů struktury oceli u obou způsobů tepelného zpracování, byl pro posouzení vložen opět pouze snímek z tepelného zpracování č. 1.

Struktura vzorku je uvedena na obr. 29. Struktura je tvořena popuštěným martenzitem s viditelně vyloučenými bílými útvary – karbidy. Jednalo se jednak o drobnější karbidy o velikosti přibližně 2 μm a větší karbidy (pravděpodobně primární) o velikosti přibližně v rozmezí 5 - 20 μm . Karbidy jsou stejně jako u oceli AK5 v matici rozptýlené rovnoměrně, s větším podílem vyloučeným dle očekávání na hranicích zrn.



Obr. 29 Snímek mikrostruktury oceli N690-53/zvětšeno 500x



Ocel RWL34

Na obr. 30 je zobrazený snímek struktury materiálu oceli vyrobené práškovou metalurgií, po tepelném zpracování způsobem č.2 (Kalení:1070°C-20min/Popouštění:120°C-2hod → 510°C-2hod → 510°C-2hod/Tvrdost 58 HRC). Z důvodu téměř totožných snímků u obou způsobů tepelného zpracování této oceli, byla v této práci uvedena pouze struktura z jednoho režimu tepelného zpracování.

Na snímku je zobrazena matrice tvořená popuštěným martenzitem obsahujícím bílé kulovité útvary – karbidy o velikosti přibližně 6 μm případně menší. Vzhledem k tomu, že se jedná o ocel vyrobenou práškovou metalurgií, je vzhled struktury zcela jiný. Chybí zde charakteristické hranice zrn oproti konvenčně vyráběným materiálům. Tmavá místa ve struktuře mohou souviset s póry v materiálu. Pro posouzení struktury tohoto typu materiálu bude nezbytné v dalším výzkumu použít jiné metody než jen metalografické hodnocení na světelném mikroskopu.



Obr. 30 Snímek mikrostruktury oceli RWL34-58/zvětšeno 500x

4 ZÁVĚRY

V rámci bakalářské práce byla zpracovaná rešerše o ocelích vhodných a používaných pro čepele nožů, včetně jejich základního rozdělení, ve kterém byly u jednotlivých typů popsány požadované vlastnosti a základní charakteristiky. Další kapitola byla zaměřena na nožířské oceli, kde byly uvedeny vlivy jednotlivých chemických prvků na vlastnosti ocelí. Na základě průzkumu byl sestaven soubor ocelí pro nožířské účely, rozdělený na konvenčně vyrobené oceli, oceli vyrobené práškovou metalurgií a speciální druhy, např. Damascenská ocel a další. U každého materiálu byly stručně popsány vlastnosti, použití a chemické složení.

Vzorky tří vybraných ocelí pro praktickou část: AK5, N690 a RWL34 byly tepelně zpracované dvěma různými způsoby, následně byly na nich provedené zkoušky mechanických vlastností, konkrétně: statická zkouška ohybem a zkouška tvrdosti podle Rockwella. Výsledky byly zaneseny do přehledných tabulek a grafů. Na základě těchto výsledků zkoušek, bylo u obou způsobů tepelného zpracování provedené zhodnocení a posouzení vhodnosti ocelí pro čepele nožů. Na závěr byla metalografickým hodnocením posuzovaná struktura materiálů.

Bakalářská práce splnila stanovené cíle. Rozsah experimentální práce byl ještě rozšířen o další dvě jakosti nástrojových ocelí. Práce vytváří vhodné podmínky pro další výzkum v oblasti vlastností a tepelného zpracování vybraných nástrojových ocelí. V dalším výzkumu by bylo vhodné se blíže věnovat struktuře nástrojových ocelí a jejímu hodnocení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BOTHE, Carsten. *Kniha o nožích a sekerách: materiály, typy, zacházení a péče*. Přeložil Anna ŠTORKÁNOVÁ. Líbeznice: Víkend, 2018. ISBN isbn978-80-7433-231-9.
2. BÖHLER: *Průmyslové nože* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.bohler.cz/cs/shearing-machine-knives-2109.php>
3. COLD STEEL: *Tlačné dýky a nože* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.cold-steel.cz/tlacne-dyky-a-noze>
4. Pokornyknives: *Obsidian-monster* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.pokornyknives.com/obsidian-monster-ti>
5. FROLEC, Ivo. *Kovářství*. Praha: Grada, 2003. Řemesla, tradice, technika. ISBN 80-247-0611-3.
6. ŠTRÁFELDA, Jan. *Shaman.cz: Druhy a typy nožů* [online]. 2001 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.shaman.cz/vybaveni/nuz-druhy-typy.htm>
7. COLD STEEL: *bowie-nože* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.cold-steel.cz/bowie-noze>
8. Luboš Došek. *LD GUNS: Nůž Elite Force EF 137 vrhací* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: http://obchod.ldguns.cz/index.php?main_page=product_info&products_id=2231
9. FROGTAC: *Nůž Gerber Hinderer Rescue* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.frogtac.cz/NOZE-A-NASTROJE/Nuz-Gerber-Hinderer-Rescue-cerveny>
10. COLD STEEL: *Bojový nůž Leatherneck Tanto* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.cold-steel.cz/hledani?query=leatherneck+tanto>
11. Wüsthof: *Vykošťovací nůž* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.wusthof.cz/vykostovaci-noze-solingen/classic-ikon-nuz-vykostovaci-14-cm>
12. Precision: *Lovecký nůž* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://cz.knifesky.com/fixed-blade-knife/hunting-knife/wood-handle-hunting-skinning-fixed-blade.html>
13. LUTZ BLADES: *Čepelky* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.lutz-blades.com/cz/produkty/cepelky-podle-druhu/prumyslove-cepelky.html>
14. MERCEL: *Průmyslové nože* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://www.mercel.cz/cz/o-spolecnosti-k1.html>
15. TECHNI TRADE: *Kruhové nože* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.machine-knives.cz/noze-podle-tvaru/kruhove-kotoucove-noze/kruhove-noze-se-spojitym-ostrim/>
16. *Nástrojové oceli POLDI a jejich použití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
17. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
18. TUMLIKOVO [online]. 2010 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/prevodni-tabulky-oceli/>
19. PLUHAŘ, Jaroslav a Josef KORITTA. *Strojírenské materiály*. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury.
20. MACEK, Karel. *Kovové materiály*. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03513-1.

21. ČERNÝ, Michal. Noze-nuz.com. *Nožířské oceli* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: http://www.noze-nuz.com/nozirske_oceli/ocele.php
22. CRUCIBLE INDUSTRIES: *Products* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://www.crucible.com/products.aspx>
23. MATWEB [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: www.matweb.com/
24. K-spol: *Mačeta Elite Force* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.zbrane-kspol.cz/cz-detail-902323060-elite-force-ef-712.html>
25. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013. ISBN 978-80-261-0260-1.
26. CRUCIBLE INDUSTRIES: *CPM* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.crucible.com/eselector/general/generalpart3.html>
27. HRÁLA, Jiří. *Knives by turtle: Materiály* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://turtleknives.com/materialy/>
28. DAMASTEEL: *RWL34* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://damasteel.se/wp-content/uploads/2019/01/Data-Sheet-RWL34.pdf>
29. UDDEHOLM: *ELMAX* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/iberica/en/products/uddeholm-elman-superclean/>
30. DAMASTEEL [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://damasteel.se/process/>
31. KOVÁŘ: *O bulatu* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.kovar-a.cz/o-bulatu...-za-atek.html>
32. BÖHLER: *N690* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.bohler-edelstahl.com/en/N690.php>
33. ČSN 41 7029: 17 029 [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.knife.cz/DesktopModules/YetAnotherForumDotNet/resource.ashx?a=101480>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Šířka	[mm]
b	Délka	[mm]
C	Uhlík	[hm.%]
Co	Cobalt	[hm.%]
Cr	Chróm	[hm.%]
dL	Celkový průhyb	[-]
dL (plast.)	Trvalá deformace	[-]
E _{mod}	Modul pružnosti	[GPa]
F _{max}	Maximální ohybové zatížení	[N]
F _p	Zatížení při deformaci	[N]
Mn	Mangan	[hm.%]
Mo	Molybden	[hm.%]
M _s	Martenzit Start	[°]
Nb	Niob	[hm.%]
Ni	Nikl	[hm.%]
P	Fosfor	[hm.%]
Rp0,2	Smluvní mez kluzu	[MPa]
S ₀	Obsah	[mm ²]
S	Síra	[hm.%]
Si	Křemík	[hm.%]
t	Tloušťka	[mm]
σ_M	Mez pevnosti v ohybu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Strojní nože [2]	9
Obr. 2 Tlačné dýky Cold Steel [3]	9
Obr. 3 Damascenský nůž/p.Pokorný [4]	9
Obr. 4 Základní rozdělení nožů.....	10
Obr. 5 Záchranářský zavírací nůž Gerber [9].....	11
Obr. 6 Bojový nůž Cold Steel [10]	11
Obr. 7 Vykošťovací nůž Wüsthof [11]	11
Obr. 8 Čepel typu Bowie [12]	12
Obr. 9 Vrhací nůž Elite Force [8].....	12
Obr. 10 Čepelky [13].....	13
Obr. 11 Kruhové nože [14]	13
Obr. 12 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost uhlíkových ocelí ve stavu kaleném a žíhaném [19]	14
Obr. 13 Závislost obsahu uhlíku na parametru mřížky martenzitu [19] ..	14
Obr. 14 Vliv chromu a molybdenum na tvrdost po popuštění [20]	15
Obr. 15 Taktický nůž Ka-bar [21]	18
Obr. 16 Mačeta Elite Force [24]	19
Obr. 17 Damasteel-Baldur [30]	23
Obr. 18 Damasteel-Bluetongue [30]	23
Obr. 19 Rozměry zkušebních vzorků.....	24
Obr. 20 Automatický lis ECOPRESS 100	25
Obr. 21 Systém označení vzorků.....	25
Obr. 22 Graf středních hodnot tvrdosti	27
Obr. 23 Detail uložení vzorku pro ohyb.....	28
Obr. 24 Zařízení ZWICK ROEL Z250	28
Obr. 25 Graf naměřených hodnot meze pevnosti v ohybu jednotlivých vzorků	30
Obr. 26 Graf vypočítaných středních hodnot Meze pevnosti pro soubory vzorků	31
Obr. 27 Průběh křivek meze pevnosti u sledovaných vzorků při ohybové zkoušce.....	32
Obr. 28 Snímek mikrostruktury oceli AK5-55/zvětšeno 500x	33
Obr. 29 Snímek mikrostruktury oceli N690-53/zvětšeno 500x	34
Obr. 30 Snímek mikrostruktury oceli RWL34-58/zvětšeno 500x	35

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Označení ocelí podle vybraných norem [2], [16], [18].....	17
Tab. 2 Orientační chemické složení vybraných nožářských ocelí [2], [21], [22], [23]	17
Tab. 3 Chemické složení ocelí vyrobených práškovou metalurgií [22], [23], [28], [29].....	21
Tab. 4 Chemické složení testovaných ocelí	24
Tab. 5 Parametry tepelného zpracování vzorků oceli AK5.....	26
Tab. 6 Parametry tepelného zpracování vzorků oceli N690.....	26
Tab. 7 Parametry tepelného zpracování vzorků oceli RWL34.....	26
Tab. 8 Přehled výsledných hodnot zkoušky tvrdosti podle Rockwella.....	27
Tab. 9 Přehled výsledků stanovených při ohybové zkoušce vybraných ocelí.....	29
Tab. 10 Přehled výsledných hodnot Meze pevnosti vybraných ocelí.....	30

